

УДК: 621.513

А.В. Смирнов, В.С. Слатвинский, А.С. Игитов

ОАО «Сумское машиностроительное НПО им. М.В. Фрунзе», ул. Горького, 58, г. Сумы, Украина, 40004
e-mail: tkm@frunze.com.ua

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ГАЗОНАПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОМПРЕССОРНЫЕ СТАНЦИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Изготовители автомобильных газонаполнительных компрессорных станций совершенствуют их, учитывая высокие требования не только к техническим характеристикам, но и к эксплуатационным и экологическим показателям. Всему этому соответствуют станции нового параметрического ряда. В них впервые применена энергосберегающая адсорбционная короткоцикловая осушка газа с безнагревной регенерацией сорбента. Компрессорное оборудование, входящее в базовый технологический блок, установлено в контейнере, где поддерживается необходимый микроклимат. Приводятся показатели четырёх станций нового поколения.

Ключевые слова: Природный газ. Осушка газа. Автомобильная газонаполнительная компрессорная станция.

A.V. Smirnov, V.S. Slatvinsky, A.S. Ihitov

AUTOMOBILE GAS-FILLING COMPRESSOR STATIONS OF NEW GENERATION

Manufacturers of automobile gas-filling compressor stations improve them, taking into account the high requirements not only to characteristics, but also to operational and ecological parameters. To all this there corresponds the stations of new parametrical lines. In them for the first time is applied energy-efficient adsorption short-swing gas dewatering with heatingless regeneration of sorbent. The compressor equipment which is included in the base technological block is established in the container where the necessary microclimate is supported. Parameters of four stations of new generation are resulted.

Keywords: Natural gas. Gas dewatering. Automobile gas-filling compressor station.

1. ВВЕДЕНИЕ

Уже более 20 лет объединение производит разнообразное технологическое оборудование для автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) в блочно-контейнерном исполнении. Одновременно нами в значительной степени формируется этот рынок, изучаются тенденции и направления его развития.

Объединение начало выпускать технологическое оборудование для АГНКС с 1987 г. С тех пор создано более 170 станций различной производительности, которые успешно эксплуатируются в 13 странах мира. Концепция модульного блочно-контейнерного исполнения, которая пришла на смену капитальному строительству станций, и на сегодня остаётся доминирующей.

Последние наши разработки в этой области — параметрический ряд из четырёх модификаций двухкомпрессорных АГНКС с давлением всасывания от 0,05 до 1,7 МПа и производительностью по отпускаемому газу от 950 до 2400 м³/ч. В их конструкции заложены все лучшие технические решения, отработанные на ранее выпускаемых моделях, а также новые энергосберегающие технологии [1,2].

2. СТРУКТУРА И ХАРАКТЕРИСТИКИ АГНКС

Отличительными особенностями новых станций с высоким уровнем автоматизации технологических процессов являются:

- возможность при небольших затратах трансформировать станцию в однокомпрессорную, когда не требуется большой заправочной мощности, или в трёхкомпрессорную для станций повышенной мощности;
- применение энергосберегающего блока короткоцикловой адсорбционной осушки газа высокого давления с безнагревной регенерацией газом низкого давления;
- включение в технологическую схему надёжного быстроходного оппозитного компрессора на уравновешенной базе М2,5У с высокой ремонтнопригодностью, обеспеченной унификацией цилиндро-поршневых групп 1-ой и 2-ой ступеней;
- наличие системы предотвращения возврата газа при остановках компрессора с разгрузкой по ступеням;
- обеспечение «мягкого» пуска электропривода компрессора;
- использование автоматической системы поддержания давления нагнетания 1-ой ступени комп-

рессора.

Блоки и модули станций изготавливаются с полной заводской готовностью, что позволяет производить их быстрый монтаж и пуск в эксплуатацию.

Применение высокоэффективных воздушных межступенчатых охладителей газа и влагомаслоотделителей, надёжной системы автоматического контроля и управления, а также создание в проветриваемом и отапливаемом компрессорном отделении достаточных проходов и зон обслуживания с грузоподъёмными устройствами позволяют использовать такие станции в разных климатических зонах.

Технические характеристики двухкомпрессорных АГНКС четырёх типов приведены в табл. 1.

Производственные мощности объединения позволяют серийно изготавливать станции различных модификаций, варьируя комплектность поставки и адаптируя оборудование к специфическим требованиям заказчика. Перед отгрузкой поставляемое изделие проходит приёмо-сдаточные испытания на природном газе при рабочих условиях (см. фото 1).

Базовый комплект технологического оборудования, обеспечивающий работоспособность станции, включает в себя следующие сборочные изделия: блок входных кранов (1 шт.); модуль компрессорный (2 шт.) и модуль подготовки газа (1 шт.), составляющие единый технологический блок; АСУ в шкафном варианте (1 компл.); ЗИП к компрессорам (1 компл.). Модуль компрессорный и подготовки газа составляют единый технологический блок.

Стандартный набор оборудования, предлагаемый заказчику для формирования замкнутой технологической системы АГНКС, включает в себя, кроме базового комплекта, ещё блок аккумуляторов на 2 м³, дренажную ёмкость, установку заправочных колонок с ком-

мереческим учётом отпускаемого газа (СКУГ) или рампу с постами без СКУГ, меж-блочную газопроводную обвязку.

Базовые сборочные изделия станции поставляются в состоянии полной заводской готовности: они проходят технический контроль и приёмку. Эти изделия выполнены с учётом допустимых транспортных габаритов и не требуют перед отгрузкой дополнительной разборки и последующей сборки на месте эксплуатации.

Кроме этого, объединение может дополнительно поставлять узел учёта входного газа с фильтром; систему разгрузки компрессора с расширительными ёмкостями; дополнительные секции аккумуляторов с объёмом, кратным 2 м³; устройство, обеспечивающее автоматическую регулировку оборотов главного электродвигателя компрессора, и любое другое оборудование, расширяющее функциональные возможности станции. Имеется возможность поставки АГНКС «под ключ».

3. БЛОК КОРОТКОЦИКЛОВОЙ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Используемый в составе АГНКС блок короткоциклового осушки газа БОКЦ-25 (см. фото 2) предназначен для глубокой (до остаточного влагосодержания 0,009 г/м³) осушки компримированного до 25МПа природного газа.

Тип осушки — адсорбционный короткоцикловый, по высокому давлению с безнагревной регенерацией адсорбента газом низкого давления. Поставляется блок заказчику в двух вариантах: с двухпозиционным пневмораспределителем для переключения потоков газа или с применением для этих целей шаровых кранов.

Блок осушки газа с шаровыми кранами работает следующим образом. Сжатый и очищенный от капельной влаги в компрессорных установках газ высокого давления поступает в блок осушки через спаренные шаровые краны с ручным приводом. При этом байпасная (обводная) линия закрыта. Влажный газ направляется посредством открытия приводного крана для осушки в один из адсорбе-



Фото 1. Оборудование АГНКС в процессе доводки в блоке испытательных стендов объединения

Таблица 1.

Наименование показателей	Значения			
	АГНКС-250	АГНКС-300	АГНКС-400	АГНКС-700
1. Количество компрессоров, шт.	2			
2. Производительность станции (приведённая к нормальным условиям) по отпускаемому газу при номинальном давлении всасывания, нм ³ /ч	950	1200	1700	2400
3. Давление газа, МПа:				
— на входе в станцию (диапазон)	0,05-0,3	0,3-0,6	0,6-1,2	1,2-1,7
— номинальное на входе	0,18	0,5	1,0	1,5
— компримирования, макс.	25	25	25	25
— заправки автомобилей, макс.	20	20	20	20
4. Температура газа, °С:				
— на входе в станцию	-5- +30			
— после конечного охладителя	20-50			
5. Объём аккумуляторов, м ³ , не менее	2			
6. Установленная мощность электропривода компрессора, кВт	132	160	200	
7. Частота вращения, мин ⁻¹	980			
8. Рекомендуемое количество заправочных колонок, шт.	4	5	6	



Фото 2. Блок адсорбционной осушки газа БОКЦ-25 с пневмораспределителем

ров. Вследствие того, что процесс осушки производится при высоком давлении (до 25 МПа), а регенерация при низком, но превышающем давление всасывания, в линии подачи газа, которая является одновременно и линией сброса газа регенерации, установлен входной регулирующий клапан. При большом перепаде давлений на нём клапан закрывает основной проход, дросселируя при этом поток газа, что позволяет производить замедленный (без скачков) подъём давления в адсорбере перед осушкой. Одновременно в другом адсорбере производится замедленный сброс давления при переходе в режим регенерации посредством открытия линии с приводным краном и выходным регулирующим клапаном. Такая технология сброса и поднятия давления в адсорбере продлевает срок службы адсорбента, препятствуя его разрушению. После снижения перепада давлений на регулирующем клапане он открывается, освобождая основной проход для потока осушаемого газа высокого давления. Пройдя слой адсорбента, газ осушается до требуемых параметров и через обратный клапан поступает в фильтр тонкой очистки. После этого он направляется в заправочный коллектор блока газораздачи для наполнения аккумуляторов газа или заправки баллонов автомобилей. При этом обратный клапан, устанавливаемый на линии подачи газа регенерации в другом адсорбере (работа адсорбера в режиме десорбции), запирается высоким давлением осушаемого газа.

Параллельно с производимой таким образом осушкой в одном адсорбере в это же время в другом осуществляется регенерация (восстановление поглощающих свойств) силикагеля. Часть осушенного газа отбирается после фильтра тонкой очистки и через открытый ручной кран подаётся в систему дросселирующих устройств и теплообменных аппаратов для формирования газа регенерации с требуемыми параметрами. Давление газа регенерации и его расход регулируются двухступенчато дроссельными вентилями. Первая ступень редуцирования газа регенерации должна быть отрегулирована таким образом, чтобы при давлении газа на входе в систему осушки 20-25 МПа после дроссельного вентиля поддерживалось давление 3-5 МПа. Вторая ступень редуцирования устанавливает давление регенерации, превышающее на 0,1-0,2 МПа давление всасывания компрессора, и расход газа регенерации, который не должен превышать 10 % от общего объёма осушаемого газа. После

первой ступени редуцирования газ охлаждается до отрицательных температур. Поэтому в компрессорных установках на горячей линии второй ступени компримирования установлен кожухотрубчатый подогреватель, который нагревает газ регенерации перед подачей во вторую ступень редуцирования. При этом используется подогреватель той компрессорной установки (подключается или отключается кранами), которая находится в данный момент в основном режиме.

Как показали расчёты, для станций, работающих при входном давлении газа 0,05...0,3 МПа, продолжительность полуцикла короткоциклового осушки должна быть не более 40 мин. С повышением входного давления до 1,2 МПа она уменьшается до 20 мин. С учётом пропускной способности блока осушки Q и расхода газа регенерации, не превышающего 10 % от Q , расчётная высота слоя адсорбента (силикагель марки КСМГ) составляет 0,8 м при диаметре адсорбера 0,123 м.

Новизна такой технологии заключается в том, что влага из газа, контактирующего непродолжительное время в период сорбции со слоем адсорбента, не успевает глубоко проникнуть в его поры, а значит для её извлечения (десорбции) не требуется газ регенерации с высокими температурами. Поэтому регенерация проводится при комнатной температуре. Это позволяет обеспечить высокое качество работы системы осушки в нестабильном режиме работы АГНКС с частыми остановками компрессоров.

В классических схемах осушки с длительным полуциклом осушки и высокотемпературной регенерацией очень много расходуется тепла и времени на разогрев адсорбера с адсорбентом при выходе на режим десорбции. В случае остановки компрессора по любым причинам регенерация прерывается, и в течение этого простоя адсорбер остывает. Это негативно сказывается на технологическом процессе десорбции при следующем включении компрессора, так как требуется время для разогрева адсорбера, а оно может быть ограничено. При таких режимах работы компрессорных установок АГНКС, а по опыту эксплуатации — это проблема большинства станций, со временем происходит недорегенерация адсорбента, что напрямую сказывается на качестве заправляемого газа. Как известно, согласно ГОСТ 27577-2000 «Газ природный топливный компримированный для двигателей внутреннего сгорания» концентрация паров воды в газе не должна превышать 9 мг/м^3 , что соответствует точке росы $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ при 20 МПа.

На промыслах перед подачей в магистральные газопроводы природный газ осушается, но при транспортировке по газопроводам, отстоящим от потребителей на сотни и тысячи километров, он в ряде случаев вновь увлажняется за счёт наличия остаточной воды в газопроводах. В процессе сжатия до 25 МПа из газа с влажностью $0,4 \text{ г/м}^3$ выпадает капельная влага в количестве $0,1 \text{ г/м}^3$ при температуре газа после холодильника $30 \text{ }^\circ\text{C}$. При температуре газа $40 \text{ }^\circ\text{C}$ и выше вода не выпадает. В аккумуляторах газ хранится при давлении 25 МПа, и выпадение в них капельной влаги из газа, если он не осушен, наступает при температуре $30-36 \text{ }^\circ\text{C}$.

Наличие капельной воды в газе может привести к образованию кристаллогидратов уже при 22-24 °С. При работе автомашины сжатый до 20 МПа газ из баллонов поступает в двигатель после снижения давления в первой ступени редуктора до 1,0-1,2 МПа, а после второй ступени — до давления входа газа в карбюратор. При снижении давления в первой ступени редуцирования температура газа понижается на 60-80 °С, что приводит к выпадению воды и образованию ледяных и гидратных пробок на участке пути газа «баллон — первая ступень редуктора». В зимнее время это усугубляется ещё и тем, что баллоны и двигатель автомашины при остановках в пути, а также при безгражданном хранении охлаждаются до температуры окружающего воздуха, которая, например, в средней полосе России в отдельные годы снижается до -40 °С, а в северных районах ещё ниже.

Если же газ осушить до точки росы, обеспечивающей невозможность выпадения воды на этом участке, то и во всех остальных точках и узлах технологической цепочки «АГНКС-двигатель» вода не будет выпадать, а гидраты и пробки не смогут образовываться. Поэтому автомобилестроители потребовали обеспечения точки росы осушенного газа на уровне не выше -30 °С при 20 МПа для всех климатических зон (влажность 0,009 г/м³). Эта глубина осушки газа и предусмотрена в указанном ГОСТ 27577-2000 на топливный газ для газобаллонных автомобилей.

Короткоцикловая осушка газа с безнагревной регенерацией позволяет избежать вышеуказанного недостатка длинноцикловых осушек с нагревной регенерацией. Режимы осушки и регенерации реализуются при одной и той же температуре 20-30 °С. Отсюда второе существенное достоинство такой осушки — энергосбережение: в ней не требуется дополнительных затрат энергии на нагрев газа регенерации до высоких температур, а используется тепло сжатия газа в компрессоре в процессе двухступенчатого редуцирования газа регенерации, как показано на рис. 3.

В табл. 2 приведены параметры блока осушки, входящего в состав АГНКС.

Также немаловажным преимуществом короткоцикловой осушки является её компактность за счёт уменьшения размеров адсорберов, так как их объём рассчитывается исходя из краткосрочного контакта увлажненного газа с адсорбентом (не более 40 мин). Малые габариты установки позволяют в свою очередь существенно уменьшить размеры технологического (компрессорного) блока и общую площадь, занимаемую оборудованием станции.

Испытания блока осушки БОКЦ-25 в составе АГНКС нового поколения подтвердили его работо-

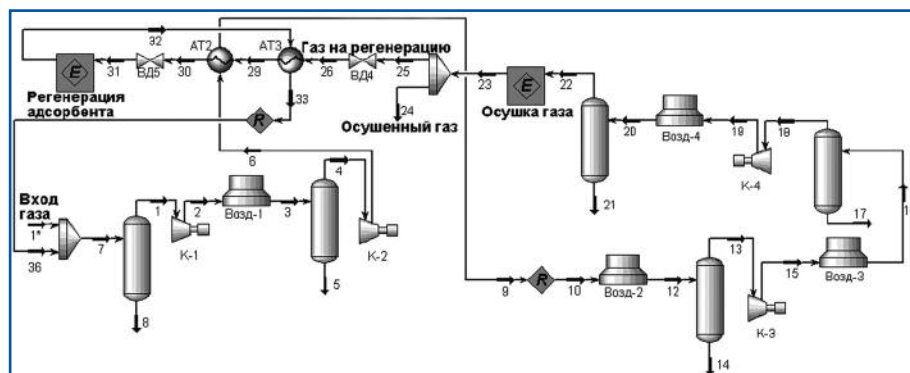


Рис. 3. Технологическая схема АГНКС с блоком короткоцикловой осушки природного газа БОКЦ-25: К-1, ..., К-4 — ступени сжатия компрессора; Возд-1, ..., Возд-4 — аппараты воздушного охлаждения; Е — адсорберы БОКЦ-25; ВД4, ВД5 — дроссельные вентили; АТ2, АТ3 — теплообменные аппараты для нагрева регенерирующего адсорбента газа

способностью при управлении приводными кранами. В настоящее время нами ведутся работы по доводке конструкции приводного двухпозиционного пневмораспределителя, который заменит приводные краны и сделает блок осушки более надежным в работе и простым в управлении.

4. ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АГНКС

Бесперебойную долговременную работу станции обеспечивают системы: автоматического управления (САУ), сигнализации и контроля параметров; обогрева и вентиляции технологического (компрессорного) блока; аварийного сброса газа при пожаре из линий станции, работающих под давлением; защиты оборудования от взрыва; дренажа; утилизации газа; коммерческого учёта количества газа (при заказе) на входе и выходе станции.

Система автоматического управления и контроля предназначена для местного и дистанционного контроля параметров, управления, защиты и регулирования режимов работы АГНКС, а также измерения и учёта количества газа на входе в станцию.

Питание силового электрооборудования осуществляется от трёхфазной сети переменного тока напряжением 380/220 В, частотой 50 Гц; цепи управления и рабочего освещения — от сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц.

Логико-программное управление и дистанционный контроль параметров АГНКС обеспечиваются микропроцессорным программно-техническим комплексом. Рабочее место оператора выполнено на базе персонального компьютера. Оператором осуществляется введение команд управления и вызов необходимой информации.

На дисплее компьютера отображается информация: текущие значения аналоговых параметров и параметров состояния исполнительных механизмов; список активных в данный момент аварийных и предупредительных сообщений, список условий, препятствующих запуску объекта управления; сообщения о текущем режиме работы АГНКС и возможном его изменении; архив значений аналоговых параметров, пе-

Таблица 2.

Точки схемы	Доля пара	Темпера- тура, °С	Давле- ние, кгс/см ²	Производи- тельность (масс.), кг/ч	Плот- ность, кг/м ³	Точка росы по воде, °С	Содержа- ние воды, мг/м ³
1*	1	30	6	969	3,866	30	5536
1	1	28,41	6	1058,97	3,887	28,4	5046
2	1	167,9	25	1058,97	11,04	54,08	5046
3	0,9953	30	24,7	1058,97	16,61	53,85	5046
4	1	30	24,7	1053,45	16,52	29,99	1446
5	0	30	24,7	5,5213	1004	222,9	—
6	1	121,3	65	1053,45	33,06	45,34	1446
7	0,9995	28,41	6	1059,56	3,89	29,67	5431
8	0	28,41	6	0,594073	1005	158,1	—
9	1	117	65	1053,45	33,5	45,34	1446
10	1	117	65	1053,45	33,5	45,34	1446
12	0,9989	30	64,7	1053,45	46,65	45,26	1446
13	1	30	64,7	1052,23	46,6	29,98	646,2
14	0	30	64,7	1,2203	1005	278,5	—
15	1	79,62	110	1052,23	66,1	36,7	646,2
16	0,9997	30	109,7	1052,23	83,96	36,67	646,2
17	0	30	109,7	0,292969	1007	315,5	—
18	1	30	109,7	1051,93	83,94	29,97	453,9
19	1	106	250	1051,93	133,7	37,45	453,9
20	0,9998	30	249,7	1051,93	189,3	37,44	453,9
21	0	30	249,7	0,211859	1011	—	—
22	1	30	249,7	1051,72	189,3	29,95	314,7
23	1	30	249,7	1051,26	189,2	—	8,532
24	1	30	249,7	961,257	189,2	—	8,532
25	1	30	249,7	90	189,2	—	8,532
26	1	-25,98	50	90	48,43	-33,34	8,532
29	1	-5	49,7	90	41,8	-33,38	8,532
30	1	48	49,7	90	32,27	-33,38	8,532
31	1	30,52	8	90	5,163	-47,87	8,532
32	1	30,52	8	90,5635	5,166	30,52	4312
33	0,996	9,887	7,7	90,5635	5,376	29,88	4312
36	0,996	9,887	7,7	90,5635	5,376	29,88	4312

реключений исполнительных механизмов; отображение сигнализационных и режимных сообщений, а также предупредительных условий; состояние оборудования и механизмов, положение электроприводных шаровых кранов, поступающих от измерительных преобразователей и датчиков положения, установленных непосредственно на объектах управления.

Для пуска приводного электродвигателя компрессора применено устройство плавного пуска и торможения «Altistart-48», что позволяет производить пуск компрессора с относительно невысокими пусковыми токами. По требованию заказчика система может быть оснащена устройством плавного регулирования частоты вращения ротора двигателя «Altivar».

САУ выполняет следующие функции: автоматическое управление компрессорной установкой по принятым алгоритмам пуска, остановки, в том числе и аварийной; автоматическое управление работой блока осушки; поддержание заданных давлений газа в аккумуляторах и линии заправки автомобилей; автоматическое управление арматурой АГНКС; контроль поло-

жения и состояния управляемых объектов; контроль значений технологического процесса со световым и звуковым оповещением при отклонении контролируемых параметров от предельных значений; контроль возникновения пожара и загазованности в технологическом блоке; измерение и учёт количества газа на входе в АГНКС; поддержание аварийного освещения в отсутствии энергоснабжения; местное и автоматическое управление вытяжными вентиляторами технологического блока; местное управление исполнительными механизмами в наладочном режиме.

Измерение и учёт газа, заправляемого в автомобили, выполняется с применением автономной системы коммерческого учёта сжатого природного газа в составе запорных колонок.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основой для создания высокоэффективного газозаправочного оборудования, отвечающего требованиям мировых стандартов, является богатый опыт объединения в разработке и изготовлении компрессорного оборудования, насосных установок, теплообменного и ёмкостного оборудования, газораспределительной арматуры. Гарантом постав-

ки нашим заказчикам станций, имеющих высокие эксплуатационные показатели, служит значительный научно-технический потенциал наших специалистов, тесное сотрудничество с ведущими научными фирмами, применение прогрессивных технологий и высокоточного обрабатывающего оборудования и др.

Модульное блочно-контейнерное исполнение станций позволяет нашим специалистам в кратчайшие сроки выполнять их монтаж и ввод в эксплуатацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Осушка газа на АГНКС/ **Е.Н. Туревский, В.И. Попов, А.Л. Халиф и др.**// Подготовка и переработка газа и газового конденсата. Обзорная информация. — 1989. — Вып. 4. — С. 4-10.
2. К расчёту короткоцикловых безнагревных установок осушки воздуха/ **В.И. Ермаков, Ю.А. Серегин, Б.И. Беккер и др.**// Химическое и нефтяное машиностроение. — 1972. — № 9. — С. 18-19.